

**Разработка нового семейства газовых двигателей, отвечающих нормам Евро-5, для среднетоннажных автомобилей на базе V-образных двигателей ЗИЛ**

Латышев А.П., Алибеков Р.И., Клишин П.В., Шульгин В.В.

УКЭР АМО ЗИЛ

д.т.н. проф. Коноплёв В.Н., д.э.н. проф. Секерин В.Д.

Университет машиностроения

+7-903-968-15-19 bcintermarket@yandex.ru

*Аннотация.* Статья посвящена разработке газовых двигателей, отвечающих требованиям норм ЕВРО-5 по экологической безопасности автотранспортных средств, с возможностью их использования на среднетоннажных автомобилях для внутригородских перевозок, автобусов малого класса, а также для городской коммунальной техники с пониженным уровнем шума. Прототипом для разработки двигателей был принят 8-ми цилиндровый бензиновый двигатель ЗИЛ-508400 с распределённым впрыском топлива.

*Ключевые слова:* альтернативные виды топлива, природный газ, газовое топливо, газовые двигатели

Сложная экологическая обстановка, складывающаяся в большинстве крупных городов и промышленных центрах Российской Федерации, также, обусловлена наличием крупных предприятий, тепловых электростанций и высокой концентрацией автотранспортных средств, задействованных в муниципальных городских хозяйствах, частном секторе, грузовых и пассажирских автоперевозках.

Одним из наиболее перспективных направлений оздоровления окружающей среды в крупных мегаполисах является применение альтернативных видов топлива, одним из которых является природный газ. Природный газ является самым перспективным среди применяемых в настоящее время альтернативных моторных топлив по следующим причинам:

- природные запасы газового топлива значительно превосходят запасы нефти;
- газовое топливо обладает потенциальной способностью обеспечить существенное снижение выбросов токсичных веществ которое по разным оценкам можно оценить в 2,5–3 раза;
- газовые двигатели имеют более высокую надёжность и ресурс на 40–45% по сравнению с бензиновыми и дизельными двигателями из-за более «мягкого» процесса сгорания газозвоздушной рабочей смеси.
- применение газомоторных топлив позволяет создать двигатели, имеющие высокие технико-экономические показатели при реализации высокоэффективного рабочего процесса, что особенно проявляется на двигателях с внешним смесеобразованием. Это объясняется высокими антидетонационными свойствами газовых топлив.

Кроме того, предпочтение природного газа обусловлено рядом других факторов, к которым можно отнести:

- более однородный состав входящих в него углеводородов; что существенно улучшает процесс смесеобразования и сгорание рабочего тела
- меньший показатель по сравнению с бензинами по теплотворной способности рабочего тела (смесь газа и воздуха), легко компенсируется повышением степени сжатия двигателя. Это обусловлено более высокой детонационной стойкостью газомоторных топлив,
- мгновенное перемешивание воздуха и газа, как при внешнем, так и при внутреннем смесеобразовании способствует улучшению процесса сгорания;
- «мягкое» и полное сгорание рабочего тела в более широком диапазоне изменений коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ );
- менее вредное воздействие отработавших газов двигателя, работающего на природном газе на нейтрализаторы (существенно меньшее количество в газомоторном топливе вред-

ных компонентов, таких как, сера и тяжёлые металлы).

Все эти преимущества позволяют получить положительный результат по повышению экологического класса двигателей при их конвертации на газомоторное топливо с существенно меньшими затратами по сравнению с дизельными двигателями.

В настоящее время доля выпуска и применения газовых двигателей на автотранспорте ничтожно мала по сравнению дизельными и бензиновыми двигателями, что связано с отсутствием соответствующих разработок новых перспективных газовых двигателей, имеющих высокие технико-экономические показатели и обеспечивающие все возрастающие экологические требования к автотранспорту.

Кроме того, актуальность данной работы обусловлена отсутствием на рынке Российской Федерации отечественных двигателей в мощностном диапазоне от 110 кВт до 130 кВт (от 145 л.с. до 185 л.с.), то есть двигателей для автотранспортных средств, имеющих грузоподъёмность от 8 до 12 т., таких как грузовые автомобили, специальные шасси для коммунального обслуживания, дорожная техника, предназначенная для ремонтных работ в городском хозяйстве, а также автобусы среднего и малого класса.

Рентабельность эксплуатации указанных автомобилей подтверждена на протяжении последних более чем, двух десятилетий. Несмотря на постоянное повышение стоимости традиционных видов топлива (бензина и дизельного топлива), так как отпускная стоимость газомоторного топлива определена Постановлением Правительства РФ об ограничении максимальной цены на КПП от 1993 года № 31.

Второй проблемой для более равномерного устойчивого спроса на газовые автомобили, является отсутствие разветвленной сети газовых заправок по регионам страны. Решение данной проблемы возможно:

- через организацию на первом этапе локальных городских сетей газовых заправок для обеспечения работы коммунальной техники и городских автобусов;
- создания газовых двигателей, работающих на газовом топливе имеющих резервную систему питания на бензине.

Как отмечалось ранее, конвертация бензиновых двигателей для работы на газомоторных топливах имеет существенные преимущества по сравнению с переводом дизельных двигателей для использования газа в качестве топлива. К ним относятся:

1. наличие системы зажигания, необходимой для принудительного воспламенения газозвоздушной смеси. В дизельных двигателях такая система отсутствует;
2. существенно меньшие механические потери в бензиновых двигателях по сравнению с дизельными;
3. более «простое» решение вопроса по оптимизации степени сжатия для достижения бездетонационной работы на газомоторных топливах.
4. более низкий уровень внешнего шума автотранспортного средства (по Правилу ЕЭК ООН № 51 - 04), который достигается за счёт более «мягкого» рабочего процесса.

Для разработки нового семейства газовых двигателей были выбраны две модификации бензиновых V-образных двигателей, отвечающих 4-му классу экологической безопасности (Евро-4) с распределённым впрыском топлива, а именно ЗИЛ-508400, ЗИЛ-509400. В качестве топливной аппаратуры применена система с распределённым впрыском газа и электронным управлением топливopодачи серийно выпускаемой ООО «Газовая индустрия».

Разработка двигателей велась по двум направлениям.

К первому направлению относятся двигатели, имеющие вихревое движение заряда, для которых были разработаны:

- новые головки блока цилиндров с изменениями геометрии камер сгорания, которые позволили повысить степень сжатия до  $\epsilon=9,8$  единиц;
- впускной газопровод с оптимизацией положения инжекторов (форсунок) подачи газа с целью обеспечения равномерности подачи рабочей смеси по цилиндрам и уменьшения газодинамического сопротивления путём оптимизации расположения каждого из 8-ми инжекторов (форсунок),

- программное обеспечение для электронного блока топливоподачи, обеспечивающее устойчивую работу двигателя на всех эксплуатационных режимах с оптимизацией топливно-экономических показателей, как для двигателя с рабочим объёмом  $V_h-6,0$  л, так и для двигателя с рабочим объёмом  $V_h-7,0$  л;
- комплект аппаратуры подачи газа фирмы ООО «Газовая индустрия», адаптированный для работы на природном газе (метане) и форсунками с оригинальными проставками для монтажа на впускном коллекторе, для обеспечения возможности оптимизировать процесс наполнения цилиндров двигателя рабочей смесью;
- специальное устройство, позволившее существенно сократить время доводки рабочего процесса при стендовых испытаниях двигателей с распределённым впрыском газа (на данное устройство подана заявка на получение патента).

Второе направление разработок - базируется на применении тангенциальных головок блока цилиндров, что позволило повысить на 6-ми и 7-ми литровых газовых двигателях мощностные показатели на 12–14% в зависимости от режимов работы по сравнению с первым направлением:

- новые головки блока цилиндров с изменениями геометрии камер сгорания, которые позволили повысить степень сжатия до  $\epsilon-9,6$  единиц
- впускной газопровод, отличающийся расположением инжекторов (форсунок) подачи газа от первого варианта;
- программное обеспечение для электронного блока топливоподачи, в котором была проведена коррекция алгоритма топливоподачи с целью увеличения расходных характеристик топлива, вызванных увеличением эффективной мощности.

К настоящему времени отработано 4 различных варианта, по которым полностью завершена конструкторская проработка и стендовые испытания со снятием технико-экономических и экологических характеристик

Стендовые испытания двигателей проводились в газовой лаборатории отдела двигателей УКЭР АМО ЗИЛ на стенде фирмы «Шенк» W-230 с управляющей стойкой фирмы AVL и газоаналитическим комплексом фирмы «Хариба».

Объекты испытаний:

1. Двигатель ЗИЛ-508400 – заводской номер 168932 в комплектности брутто двигатель укомплектован:

- поршнями изд. Э130.1004015-А3;
- головки блока цилиндров изд. Э138-1003012-10 степенью сжатия  $\epsilon-9,6$  с тангенциальными впускными каналами;
- с впускным газопроводом изд.
- штангами толкателей изд. Э138-1007
- в выхлопную систему двигателя установлен нейтрализатор производства ООО «РОСКАТ»

2. Двигатель ЗИЛ-509400 – заводской номер 173741 в комплектности брутто, двигатель укомплектован:

- поршнями с плоским днищем изд. Э375.1004015-А3;
- головки блока цилиндров изд. Э138-1003012-10 степенью сжатия  $\epsilon-9,6$  с тангенциальными впускными каналами;
- с впускным газопроводом изд.
- в выхлопную систему двигателя установлен нейтрализатор производства ООО «РОСКАТ».

Двигатели ЗИЛ-508400 заводской номер №, 163426 и ЗИЛ-509400 заводской номер № 172558 также были использованы как основные платформы для сборки опытных образцов двигателей с тангенциальным движением заряда ЗИЛ-508501 и ЗИЛ-509501. На двигателях были установлены и применены вновь разработанные детали и изделия аналогично двигателям по п. 1 и 2, имеющие свои особенности конструкции.

Характеристики перечисленных двигателей представлены в таблице № 1.

Применение 2-х типов головок блока цилиндров с вихревым и тангенциальным движением заряда позволило расширить модельный ряд двигателей и сделать более оптимальным их применение на различных автотранспортных средствах в зависимости от их назначения:

3. двигатели, имеющие максимальные мощностные показатели ( $N_e$ -175-185 л.с) – для шасси, предназначенных под установку специальной дорожной и строительной техники и автобусов малого и среднего классов;
4. двигатели, имеющие минимальные мощностные показатели ( $N_e$ -140-160 л.с) – для шасси, предназначенных для установки техники для городского коммунального хозяйства и внутригородских грузоперевозок на среднетоннажных автомобилях с полной массой до 12 тонн и имеющих пониженный уровень шума, что является актуальным для применения в спальных районах крупных городов.

Таблица 1

**Основные характеристики газовых двигателей**

<div>Модель двигателя</div> <div>Характеристика</div>	ЗИЛ-508500	ЗИЛ-509500	ЗИЛ-508501	ЗИЛ-509501
Смесеобразование	Вихревое движение заряда		Тангенциальное движение заряда	
Число цилиндров	8			
Расположение цилиндров	V-образное, угол развала 90°			
Диаметр цилиндра, мм	100	108	100	108
Ход поршня, мм	95			
Рабочий объём, л.	6,0	7,0	6,0	7,0
Степень сжатия, ε	9,8		9,6	
Номинальная мощность, кВт (л.с).	117 (140)	129 (170)	125(160)	132 (185)
Максимальный крутящий момент Н·м (кГс·м)	416,5 (42,5)	446 (45,5)	436 (44,5)	465,5 (46,5)
Номинальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	3200			
Частота вращения при максимальном крутящем моменте мин <sup>-1</sup>	1800-2000			
Система топливоподачи	Распределённый впрыск газа (8 инжекторов во впускном коллекторе)			
Масса, кг	430	440	430	440
Экологически класс	Евро-5			

Стендовые испытания разработанных двигателей показали, что они могут быть рекомендованы для применения на автотранспортных средствах различных классов в зависимости от требований конкретных заказчиков.

Одним из таких возможных вариантов автотранспортных средств может быть рассмотрено шасси автомобиля ЗИЛ-432950, по которому была проведена конструкторская проработка и предварительная компоновка расположения газового оборудования и бортовой платформы. Работы касались установок:

- газового двигателя ЗИЛ-509500 в подкапотном пространстве;
- шести баллонов ёмкостью 50 л. с их расположением вдоль лонжеронов автомобиля справа и слева по 3 с каждой стороны;
- редуктора высокого давления с газовым фильтром и электромагнитным клапаном на моторном щите;
- электронного блока управления топливоподачей – в кабине с левой стороны от водителя под панелью приборов;

- нейтрализатора отработавших газов и глушителя внутри рамы автомобиля с левой стороны по ходу движения;
- трассы газопроводов высокого давления от газовых баллонов к газовому фильтру и редуктору высокого давления;
- заправочного устройства и предохранительных клапанов;
- элементов управления на панели приборов в кабине.

На шасси автомобиля ЗИЛ-432950 применена новая кабина с пластмассовым оперением. Отличительной особенностью представленного образца является современный дизайн, полученный за счёт нового оперения, изготовленного из современных пластических материалов. Данная разработка была выполнена коллективом специалистов Управления Конструкторских и Экспериментальных Работ АМО ЗИЛ (УКЭР) в 2013-2014 годах. Макетный образец автомобиля был изготовлен по разработанным пресс-формам. Была выпущена опытно-промышленная партия автомобилей с дизельным двигателем Д-245.9Е4 для проверки прочностных и аэродинамических характеристик нового оперения и автомобиля в целом.

### Выводы

В Российской Федерации сложилась парадоксальная ситуация. Страна вышла в лидеры экспортёров природного газа. При этом в отечественном автопроме практически полностью отсутствует крупносерийное производство автотранспортных средств, на которых может быть использовано газомоторное топливо. Скромные объёмы выпуска грузовых автомобилей на КАМАЗе исчисляются тысячами шт. в год. Горьковский автозавод выпускает ограниченное количество автомобилей на газомоторном топливе, причём в основном это автомобили, работающие на сжиженном газе, (пропан-бутановая смесь). По несколько сотен штук автобусов переоборудуются в год в различных городах России. Несколько сотен тысяч автомобилей, находящихся в эксплуатации, были произведены на заводах автопрома в 70-80-е годы прошлого века. И в настоящее время наблюдается их постепенное выбытие из эксплуатации по причинам физического старения

Поэтому перспективы широкомасштабного применения газомоторных топлив в ближайшем будущем на автотранспортных находятся под большим вопросом. Представленное семейство газовых двигателей и одна из возможных версий автомобиля ЗИЛ-432950 в газовом исполнении является попыткой обратить внимание специалистов и инвесторов к решению данной проблемы

### Литература

1. Коноплев В.Н., Латышев А.П., Лысенко А.Е., Мирошников К.С., Секерин В.Д. Эффективность замены автобусного парка на автотранспортные средства, использующие КПП // Известия МГТУ «МАМИ» № 2(24), 2015, т. 5. – С. 49 – 55.
2. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
3. Патрахальцев Н.Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 267 с.
4. Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480 с.
5. Звонов В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Оценка традиционных и альтернативных топлив по полному жизненному циклу // Автостроение за рубежом. – 2001. № 12. – С. 14-20.